

1	EINLEITUNG	1
1.1	Physikalische Eigenschaften des optischen Spektralgebietes und Photochemie	2
1.2	Photooxidation von Fetten und Ölen	5
1.2.1	Primärschritte der Lipidoxidation	5
1.2.2	Startreaktionen	5
1.2.3	Beteiligung von Photosensibilisatoren	6
1.2.4	Struktur und Vorkommen von Photosensibilisatoren	7
1.2.5	Chlorophyllpigmente als Typ 2-Photosensibilisatoren	8
1.2.6	Art und Abbau der Hydroperoxide / Sekundärprodukte	11
1.2.7	Reaktionskinetik	13
1.2.8	Antioxidativ wirkende Inhaltsstoffe	14
1.3	Photoinduzierter Qualitätsverlust in Milch und Milchprodukten	15
1.3.1	Lichtinduzierter Abbau einzelner Aminosäuren	16
1.3.2	Untersuchungen zu verpackten Milchprodukten	19
1.4	Photoinduzierte Reaktionen bei Aromastoffen	20
1.4.1	Aromastoffe	20
1.4.2	Reaktionen mit Sauerstoff	21
1.4.3	Reaktionen ohne Sauerstoff	21
1.5	Optische Eigenschaften von Verpackungsmaterialien	23
1.5.1	Glas	24
1.5.2	Kunststoffe	25
2	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	28
3	UNTERSUCHUNGSMETHODEN UND ANALYTIK: PRINZIPIEN	32
3.1	Messung der Bestrahlungsstärke	32
3.2	Transmissionsmessung an Packmaterialien	35
3.2.1	Spektrophotometrische Messung	35
3.2.2	Spektroradiometrische Messung	35
3.3	Meßtechniken zur Verfolgung der oxidativen Anfälligkeit	36
3.3.1	Ermittlung der Induktionsperiode mittels Rancimat	36
3.3.2	Bestimmung der photooxidativen Anfälligkeit	38
3.3.3	Erfassung der Oxidationsprodukte	40
3.3.3.1	Statische Headspace-Gaschromatographie	41
3.3.3.2	Kapillargaschromatographie und Massenspektrometrie	42
3.4	Bestimmung des Chlorophyllgehaltes	44
3.5	Farbmessung zur Erfassung von Farbverlusten	46
3.6	Ergänzende Analytik zur Charakterisierung der Proben	46
3.7	Aminosäureanalyse	46
3.8	Destillations- und Extraktionsmethoden für Aromastoffe	47

4	ERFASSUNG VON BELICHTUNGSBEDINGUNGEN	48
4.1	Vergleich verschiedener Leuchtstofflampen für den sichtbaren Bereich	48
4.2	Leuchtstofflampen mit erhöhtem UV-Anteil	53
5	PHOTOINDUZIERTE LIPIDOXIDATION	56
5.1	Lagerverhalten von Speiseölen in Originalflaschen	56
5.1.1	Optische Eigenschaften der verwendeten Flaschen	56
5.1.2	Eigenschaften der untersuchten Pflanzenöle	62
5.1.2.1	Fettsäurezusammensetzung	62
5.1.2.2	Gehalt an Chlorophyllpigmenten	63
5.1.2.3	Bestimmung des Gehaltes an Schwermetallionen	64
5.1.2.4	Absorptionsverhalten der Pflanzenöle	64
5.1.2.5	Bestimmung der oxidativen Anfälligkeit	66
5.1.3	Lagerversuch mit originalbefüllten Flaschen	68
5.1.3.1	Oxidationsprodukte	69
5.1.3.2	Oxidative Anfälligkeit	73
5.1.3.3	Beurteilung der Ergebnisse	75
5.1.4	Lagerversuch mit einem Prüfimulanz	79
5.1.4.1	Vorversuche zur Erhöhung der photooxidativen Anfälligkeit	79
5.1.4.2	Entwicklung und Anwendung eines Prüfimulanz	81
5.1.4.3	Lagerversuch von mit dotiertem Öl gefüllten Flaschen	82
5.1.4.4	Vergleichende Beurteilung der beiden Lagerversuche	88
5.2	Snackprodukte	89
5.2.1	Lagerversuch mit verschiedenen verpackten Snackprodukten	90
5.2.1.1	Lichtschutzwirkung der Verpackungsmaterialien	91
5.2.1.2	Photooxidative Anfälligkeit verschiedener Snackprodukte	92
5.2.1.3	Qualitätsverluste bei der Lagerung	94
5.2.2	Verschiedene Verpackungsmaterialien im Vergleich	99
5.3	Weißer Schokolade	105
5.3.1	Lagerstabilität geschminkter Schokoladenfiguren an Licht	105
5.3.1.1	Beschreibung des Probenmaterials	105
5.3.1.2	Lagerbedingungen unter Belichtung	106
5.3.1.3	Ergebnisse	106
5.3.2	Wellenlängenabhängige Photooxidation von Kakaobutter	110
5.3.2.1	Versuchsanordnung	110
5.3.2.2	Ergebnis	110
5.3.3	Bestimmung der photooxidativen Anfälligkeit von Kakaobutter, Milchfett und weißer Schokolade verschiedener Rezeptur	111
5.3.3.1	Kakaobutter und Milchfett	111
5.3.3.2	Weißer Schokoladen unterschiedlicher Rezeptur	113
5.3.4	Beurteilung unterschiedlicher Verpackungsvarianten anhand weißer Schokolade als Testmedium	117

5.3.4.1	Einfluß von Folienfärbung und Begrenzung des Sauerstoffangebotes	118
5.3.4.2	Einfluß von Schutzgas in Kombination mit unterschiedlichen Folien (Modified Atmosphere Packaging MAP)	124
5.3.4.3	Veränderungen der Kopfraumzusammensetzung / Sauerstoff- verbrauch	128
6	ENTWICKLUNG EINES LEBENSMITTELSIMULANZ BASIEREND AUF AMINOSÄUREN	136
6.1	Auswahl geeigneter Aminosäuren für die Anwendung in sensibilisierten Systemen	136
6.2	Bestimmung der pH-Abhängigkeit des sensibilisierten Abbaus von Aminosäuren am Beispiel Histidin	137
6.3	Vergleich verschiedener Verpackungsvarianten in Becherform	138
6.4	Abhängigkeit des photooxidativen Abbaus ausgewählter Aminosäuren in Abhängigkeit von der Position im Becher	141
6.4.1	Prüfmedium auf Agarbasis in Petrischalen	142
6.4.2	Lichteinfluß in Abhängigkeit von der Eindringtiefe	143
6.4.3	Lichteinfluß von der Seite	145
7	PHOTOINDUZIERTE VERÄNDERUNGEN VON AROMASTOFFEN	149
7.1	Photoinduzierte Veränderungen bei Gewürzen	149
7.2	Photoinduzierte Veränderungen von Rosenwasser	153
7.3	Bildung von Photoprodukten ausgewählter Aromastoffe	157
7.3.1	Belichtung der Aromastoffe Limonen und Carvon	158
7.3.2	Anwendung des sensibilisierten Testmediums L 2 zum Vergleich der Lichtschutzwirkung von Kunststoffbechern	164
7.3.3	Anwendung des unsensibilisierten Testmediums C 1	167
7.3.3.1	Verhalten des Testmediums C 1 bei verschiedenen Bestrahlungs- stärken	167
7.3.3.2	Anwendung des Testmediums C 1 in Flaschen verschiedener Glasfarbe	169
7.3.3.3	Anwendung des Testmediums C 1 in Folienbeuteln	170
8	ZUSAMMENFASSUNG	174
9	ARBEITSVORSCHRIFTEN	181
9.1	Messung der Bestrahlungsstärke	181
9.1.1	Spektroradiometrische Meßeinheit	181
9.1.2	Durchführung	181
9.1.3	Auswertung	182
9.2	Messung der Beleuchtungsstärke	182
9.3	Transmissionsmessung an Packmaterialien	182

9.4	Rancimat-Methode	183
9.4.1	Materialien und Geräte	183
9.4.2	Durchführung	183
9.4.3	Auswertung	184
9.5	Messung des Sauerstoffverbrauchs	185
9.5.1	Materialien und Geräte	185
9.5.2	Durchführung	185
9.5.3	Auswertung	186
9.6	Messung der Gaszusammensetzung in Verpackungen	187
9.6.1	Materialien	187
9.6.2	Durchführung	187
9.6.3	Auswertung	187
9.6.4	Bestimmung des Restsauerstoffgehaltes in Verpackungen	188
9.7	Chlorophyllbestimmung	188
9.7.1	Materialien und Geräte	188
9.7.2	Durchführung	189
9.7.3	Auswertung	190
9.8	Farbmessung nach dem CIE-Lab-System	191
9.8.1	Materialien und Geräte	191
9.8.2	Durchführung	191
9.8.3	Auswertung	191
9.9	Statische Headspace – Gaschromatographie	192
9.9.1	Qualitativ	192
9.9.1.1	Materialien und Geräte	192
9.9.1.2	Durchführung	192
9.9.1.3	Auswertung	192
9.9.2	Quantitativ	193
9.9.2.1	Materialien und Geräte	193
9.9.2.2	Durchführung	194
9.9.2.3	Auswertung	194
9.10	Wasserdampfdestillation zur Isolierung von Oxidationsprodukten Kapillargaschromatographie, Massenspektrometrie	195
9.10.1	Materialien und Geräte	195
9.10.2	Durchführung	195
9.10.3	Quantitative Auswertung	197
9.11	Ergänzende Analytik zur Zusammensetzung lipidhaltiger Systeme	197
9.11.1	Fettsäurezusammensetzung	197
9.11.2	Tocopherolbestimmung in Pflanzenölen und weißer Schokolade	198
9.11.3	Bestimmung von Eisen und Kupfer mittels Atomabsorptions- spektrometrie	199
9.12	Herstellung der Aminosäuremodelle und Aminosäureanalyse	199
9.12.1	Herstellung der Modell-Lösungen	199

9.12.2	Analytik	200
9.12.2.1	Probenvorbereitung	200
9.12.2.2	Aminosäureanalyse	201
9.13	Herstellung von aromastoffhaltigen Testmedien und Aromastoffanalytik	204
9.13.1	Materialien und Geräte	204
9.13.2	Durchführung der Analytik	204
9.13.3	Herstellung der Testmedien	205
10	LITERATURVERZEICHNIS	206
	Anlagen	